

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-347700

(43)Date of publication of application : 22.12.1994

(51)Int.Cl.

G02B 21/02
G02B 13/18

(21)Application number : 05-160028

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 07.06.1993

(72)Inventor : KASHIMA SHINGO

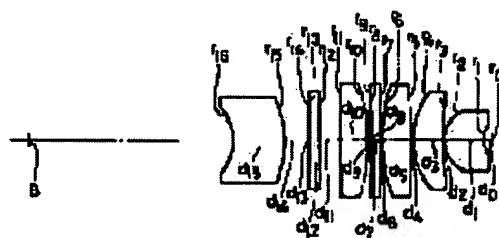
(54) OBJECTIVE LENS

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an objective lens composed of a lens system having high magnification and capable of dealing with requirement to have a larger numerical aperture and effectively compensating various aberrations, especially chromatic aberration using a diffraction type optical element even if the lens is merely made of quartz by satisfying a specified condition.

CONSTITUTION: This lens is provided with a first group of a positive refractive power as a whole including a plano-convex lens having a plane on the object side or a meniscus lens whose concave surface faces the object side and a second group including at least one diffraction type optical element in order from the object side. This lens satisfies the condition: $0.5 < R/t < 5$ and the diffraction

type optical element satisfies at least one of the conditions: $D_1/D > 0.8$ and $(h \times f)/(L \times I) > 0.07$. D_1 is a marginal beam diameter on the surface of the diffraction type optical element and D is maximum marginal beam diameter within the objective lens. (h) is the height of a principal light ray on the surface of the diffraction type optical element, (f) is the focal distance of the whole system element, (f) is the focal distance of the whole system, L is confocal distance and I is the maximum height on the surface of a sample.



LEGAL STATUS

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-347700

(43) 公開日 平成 6 年 (1994) 12 月 22 日

| | | | | |
|---------------------------|------|---------|-----|--------|
| (51) Int.Cl. ⁵ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| G 0 2 B 21/02 | A | 9120-2K | | |
| 13/18 | | 9120-2K | | |

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 10 頁)

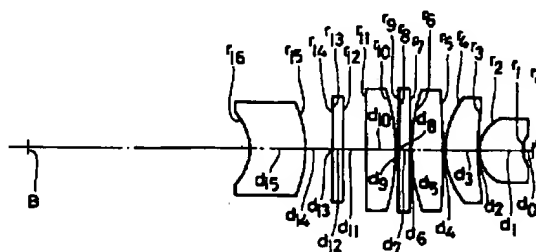
| | | | |
|-----------|-----------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願平5-160028 | (71) 出願人 | 000000376 オリンパス光学工業株式会社 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 |
| (22) 出願日 | 平成 5 年 (1993) 6 月 7 日 | (72) 発明者 | 鹿島 伸悟 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 オリ ンパス光学工業株式会社内 |
| | | (74) 代理人 | 弁理士 向 寛二 |

(54) 【発明の名称】 対物レンズ

(57) 【要約】

【目的】 本発明の目的は、高倍率、高 NA に対応出来、レンズを石英一種類のみにて構成したにもかかわらず効果的に諸収差特に色収差を良好に補正した顕微鏡対物レンズを提供することにある。

【構成】 本発明の対物レンズは、物体側から順に物体側が平面の平凸レンズ又は物体側に凹面を向けたメニスカスレンズを含み全体が正の屈折力の第 1 群と少なくとも 1 枚の回折型光学素子を含む第 2 群とからなり、メニスカスレンズの形状や回折型光学素子の配置等を適切に選ぶことにより、本発明の目的を達成し得るようにした。



(2)

特開平6-347700

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】物体側から順に、物体側が平面の平凸レンズ又は物体側に凹面を向けたメニスカスレンズを含み全体として正の屈折力の第1群と、少なくとも1枚の回折型光学素子を含んだ第2群とよりなり、下記の条件を満足する対物レンズ。

$$(1) \quad 0.5 < R/t < 5$$

$$(2) \quad D_1/D > 0.8$$

$$(3) \quad (h \times f) / (L \times I) > 0.07$$

ただしRは前記メニスカスレンズの像側の面の曲率半径、tは前記メニスカスレンズの肉厚、D₁は回折型光学素子の面でのマージナル光束径、Dは対物レンズ中の最大マージナル光束径、hは回折型光学素子の面での主光線高、fは全系の焦点距離、Lは同焦距離、Iは標本面での最大像高である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、顕微鏡等の光学系に用いられる対物レンズで、特に紫外光を用いた顕微鏡等の光学系に用いられる対物レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の紫外線顕微鏡用の対物レンズは、その波長が330nmより短くなるとレンズとして使用し得る硝材が螢石と石英に限定されるために、これら硝材を用いたレンズを接合した接合レンズを多用して色補*

$$n \sin \theta = n' \sin \theta'$$

ただし、nは入射側媒質の屈折率、n'は出射側媒質の屈折率、θは光線の入射角、θ'は光線の射出角である。

【0007】一方、回折現象では、図14のように光は※30

$$n \sin \theta - n' \sin \theta' = m\lambda/d \quad (2)$$

ただしmは回折光の次数、λは波長、dは格子間隔である。

【0009】上記の式(2)に従って光線を曲げるようにした光学素子が回折型光学素子である。尚、図14では遮蔽部と透過部が間隔dで並設されたものを示したが、図15のように透明体の表面に断面鋸歯状の回折面を設けてブレース化するか、図16のようにそのバイナ★

$$1/f = (n-1) (1/r_1 - 1/r_2) \quad (3)$$

ただし、fは焦点距離、r₁、r₂は夫々入射面と射出面の曲率半径、nはレンズの屈折率である。

【0013】上記式(3)の両辺を波長λにて微分する☆

$$\begin{aligned} df/d\lambda &= -f (dn/d\lambda) / (n-1) \\ \therefore \Delta f &= -f \{ \Delta n / (n-1) \} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで係数倍的效果を除くと、Δn/(n-1)が分散特性を表わすことになるので、分散値νを次のように定◆

$$\nu \equiv (n-1) / \Delta n \quad (5)$$

したがって可視域における分散特性(アッベ数ν_d)は次のようになる。

$$\nu_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C) \quad (6)$$

*正を行なっていた。しかし2種類の硝材では色補正の能力に乏しく狭い範囲での色補正しか出来なかった。更に螢石は加工性が悪くまた波長が300nm以下では適当な接合剤がなく、深紫外域では結局石英だけが適切な硝材である。しかし石英のみで構成された対物レンズでは、色補正が不可能であるため、光源としては、狭帯域発振する1種類のレーザーしか用いることが出来ない。

【0003】最近光学素子として回折型光学素子(DOE)を用いた光学系が注目されている。この回折型光学素子を用いた対物レンズで、本発明の対物レンズと類似する従来例として、特開平2-1109号、特開平4-361201号および特開平4-214516号の各公報に記載されたもの等がある。

【0004】又前記の回折現象を利用した回折型光学素子即ちディフラクティブ オプティクス エレメント s (DOE) は、オプトロニクス社発行の「光学デザイナーのための小型光学エレメント」第6、第7章、「SPIE」第126巻 46~53頁(1977年)等に詳細に記載されているが、その原理を簡単に述べると下記の通りである。

【0005】通常の光学ガラスは、図13において次の式で表わされるスネルの法則に従って屈折する。

【0006】

(1)

※次の式(2)で表わされる回折の法則にしたがって曲げられる。

【0008】

★リー近似を行なうと高い回折効率を得ることが出来る。

【0010】次に上記のような回折型光学素子を使用することによる利点について説明する。

【0011】屈折系の薄肉レンズの場合、次の式(3)に示す関係が成立つ。

【0012】

40☆と下記のように式(4)が求まる。

【0014】

◆義出来る。

【0015】

【0016】

(3)

特開平6-347700

3

4

一方回折型光学素子の場合は、回折型光学素子の焦点距離を f 、入射する平行光の光線高 h のところでの格子間*

* 隔を d 、とすると下記の式 (7) のようになる。

$$f = h / (n' \sin \theta') = (d, h) / (m\lambda) \quad (7)$$

無収差の回折型光学素子の場合、 d 、 h は一定であるの

※る。

で、 $f = C / \lambda$ (C は定数) である。この $f = C / \lambda$ の

[0018]

両辺を λ で微分すると次のようにして式 (8) が得られ※

$$\begin{aligned} df/d\lambda &= -C/\lambda^2 = -f/\lambda \\ \therefore \Delta f &= -f (\Delta \lambda / \lambda) \end{aligned} \quad (8)$$

$\Delta n / (n-1) = \nu$ であるので、式 (4) と (8) と

★の可視域でのアッペ数 ν_s は下記の通りである。

から $\nu = \lambda / \Delta \lambda$ である。したがって、回折型光学素子★10

[0019]

$$\nu_s = \lambda_s / (\lambda_p - \lambda_c) = -3.453 \quad (9)$$

このように回折型光学素子は、非常に大きな負の分散特性を持つ。通常のガラスの分散特性は、約 20~95 であるので、回折型光学素子は非常に大きな逆分散特性を持つことがわかる。また同様の計算により、回折型光学素子は異常分散性を持つことがわかる。

【0020】前記の従来例は、いずれも基本的にステッパ用レンズに関するものであり、石英のみで構成されている光学系で、色収差の補正等を行なったものである。これらのうち特開平2-1109号公報の光学系は、瞳位置に回折型光学素子を配置したことを特徴としている。又特開平4-361201号の光学系は、回折型光学素子の周辺部では中心部よりも高次の回折光を用いることを特徴としている。更に特開平4-214516号の光学系は、光線高の高いところに回折型光学素子を配置したことを特徴としている。これら従来例は、低倍率の顕微鏡対物レンズには応用できる面もあるが、はるかに高い倍率で高NAの顕微鏡対物レンズに応用することは出来ない。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、以上の点に鑑み、高倍率、高NAに対応出来るレンズ系で、石英一種類のみであっても回折型光学素子を用いることによって効果的に諸収差特に色収差を補正した対物レンズを提供することを目的としている。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明の対物レンズは、物体側から順に、物体側が平面の平凸レンズ又は物体側に凹面を向けたメニスカスレンズを含み全体として正の屈折力の第1群と、少なくとも1枚の回折型光学素子を含んだ第2群とよりなり、下記の条件を満足することを特徴としている。

$$(1) \quad 0.5 < R/t < 5$$

$$(2) \quad D_1/D > 0.8$$

$$(3) \quad (h \times f) / (L \times I) > 0.07$$

ただし R は前記メニスカスレンズの像側の面の曲率半径、 t は前記メニスカスレンズの肉厚、 D_1 は回折型光学素子の面でのマージナル光束径、 D は対物レンズ中の最大マージナル光束径、 h は回折型光学素子の面での主光線高、 f は全系の焦点距離、 L は同焦距離、 I は標本

面での最大像高である。

【0023】高NA、高倍率の対物レンズは、物体から出たNAの高い発散光を収斂光にするために先玉に強いパワーの面を設ける必要がある。この強いパワーの面を物体側に凸面を向けたレンズに用いるとその面で発生する諸収差が非常に大になる。そのために必然的に先玉は物体側に平面または凹面を向けたメニスカスレンズになる。このメニスカスレンズの像側の面のパワーを強くしなければならずこの面の曲率半径は非常に小さくなり、肉厚を確保するために先玉はほぼ半球状になる。この先玉のメニスカスレンズを規定したのが条件 (1) である。この条件 (1) の下限の0.5を越えたとこのメニスカスレンズの肉厚を確保出来ず、逆に上限の5を越えたと面のパワーが弱くなりすぎて物体からの光を効果的に収斂光にすることが出来ない。

【0024】本発明の対物レンズは、前記のメニスカスレンズで収斂ぎみになった光線を更に第1群中の数枚の正レンズにて収斂させて回折型光学素子を含む第2群へ導くようにし、この第2群にて色収差等を補正するようにしている。

【0025】色収差は、大きく分けて軸上色収差と倍率の色収差の2種類あり、前者は焦点位置の波長によるずれで、後者は焦点距離 (倍率) の波長によるずれである。

【0026】これら色収差のうち、軸上色収差の補正を行なう上で最も効果的な位置は、対物レンズにおいては、瞳位置であるが、正確に瞳位置である必要はなく、この瞳の近傍で光束径 (軸上マージナル光束径) の大きな所が、軸上色収差を補正する上で効果的である。これを考慮して定めたのが前記条件 (2) である。この条件 (2) において、下限の0.8以下になると他の屈折型光学素子 (レンズ) で発生する軸上色収差を回折型光学素子で補正しきれなくなり、屈折型光学素子に多くの接合レンズを用いなければならず又異常分散ガラスを必要とし、回折型光学素子を用いたことによる効果が十分ではなくなる。

【0027】一方倍率の色収差を補正するのに最も効果的な位置は、瞳位置ではなくそこから少し離れた主光線がある程度の光線高を有する位置である。この倍率の色

(4)

特開平6-347700

5

6

収差を効果的に補正するための回折光学素子の配置位置を定めたのが条件(3)である。この条件(3)において下限の0.07を越えると倍率の色収差を十分補正出来ず、屈折型光学素子に接合レンズを多く用いたり、異常分散ガラスを用いる必要が生じ、回折型光学素子を用いたことによる効果が十分得られない。

【0028】以上の説明からわかるように、色収差を効果的に補正するためには、その用途に応じた適切な位置に回折型光学素子を配置する必要がある。

【0029】尚条件(3)において f 、 L 、 I はこの条件を正規化するためのもので、 f/I は主光線角のパラメーター、 L は光学系全体の大きさのスケーリングのためのパラメーターである。

【0030】更に回折型光学素子は、その格子間隔を任意に設定し得ると云う製作上の特徴を有している。したがって、回折型光学素子は、格子間隔を種々に変えることにより任意の非球面レンズと等価的作用を得ることができ、しかも変曲点が多数あってもよい等通常の非球面レンズよりも設計の自由度が大であり、製作精度も良い。その上非球面レンズでは補正出来ない色収差の補正が可能である。又屈折率分布型レンズは、色収差の補正が可能であるが、実際に製作可能な屈折率分布型レンズは限られており、又紫外線や赤外線には十分対応し得ない。このように、回折型光学素子は、非球面レンズや屈*

*折率分布型レンズよりも優れた収差補正能力を有すると共に製作上も有利である。したがって、本発明のように、これを対物レンズに用いることによって、対物レンズの高性能化、コストの低減が可能であり、更に従来不可能であった新しい対物レンズの設計等が可能になる。

【0031】

【実施例】次に本発明の実施例について説明する。まず本発明の実施例で用いる回折型光学素子について更に詳細に述べる。後に示す実施例で用いられている回折型光学素子(DOE)は既に述べた通りのものであるが、このような回折型光学素子を含む光学系の設計法として、ウルトラハイ インデックス法(ultrahigh index methods)と呼ばれものが知られている。これは、回折型光学素子を屈折率のきわめて大きい仮想的なレンズ(ウルトラハイインデックス レンズ)に置き換えて設計する方法である。このことについては、「SPIE」126巻46-53頁(1977年)に記載されているが、図17を用いて簡単に説明する。図17において1はウルトラハイ インデックス レンズ、2は法線である。このウルトラハイ インデックス レンズにおいては、次の式(11)で表わされる関係が成立つ。

【0032】

$$(n_u - 1) dz / dh = n \sin \theta - n' \sin \theta' \quad (10)$$

ただし、 n_u はウルトラハイ インデックス レンズの屈折率、 z はウルトラハイ インデックス レンズの光軸方向の座標、 h は光軸からの距離、 n 、 n' はそれぞれ入射側媒質および射出側媒質の屈折率、 θ 、 θ' ※

※は光線の入射角および射出角である。

【0033】式(2)および(10)から次の式(11)が求まる。

【0034】

$$(n_u - 1) dz / dh = m\lambda / d \quad (11)$$

即ち、ウルトラハイ インデックス レンズ(屈折率が極めて大きい屈折型レンズ)の面形状と回折型光学素子のピッチとの間には式(11)で与えられる等価関係が成立し、この式を通じてウルトラハイ インデックス★

★ス法で設計したデータから回折型光学素子のピッチを定めることができるのである。

【0035】一般的な軸対称非球面は、下記のように表わされる。

$$z = ch^2 / [1 + \{1 - c^2 (k+1) h^2\}^{1/2}] + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + \dots \quad (12)$$

ただし、 z は光軸(像の方向を正)、 h は面と z 軸との交点を原点とし z 軸に直交した座標軸のうちメリジオナル方向の座標軸、 c は基準面の曲率、 k は円錐定数で A 、 B 、 C 、 D 、...は夫々、4次、6次、8次、10次、12次、14次、...の非球面項を使用してもよい。

☆0次、...の非球面係数である。

【0036】式(11)、(12)よりある光線高における上記非球面と等価の回折型光学素子のピッチ d は、次の式(13)で表わされる。

$$d = m\lambda / [(n-1) \{ch / \{1 + (1 - c^2 (1+k) h^2)^{1/2}\} + 4Ah^3 + 6Bh^5 + 8Ch^7 + 10Dh^9 + \dots\}] \quad (13)$$

尚以下の実施例では、非球面項として10次までであるが、12次、14次、...の非球面項を使用してもよい。

【0037】次に各実施例のデーターを示す。

実施例1

焦点距離=3.6mm, NA=0.70, 倍率=50, 同焦距離=45mm

標本面最大像高=0.20mm

| | | |
|------------------|----------------|----|
| $r_0 = \infty$ | $d_0 = 0.8660$ | |
| $r_1 = -1.9996$ | $d_1 = 3.8538$ | 石英 |
| $r_2 = -3.0051$ | $d_2 = 0.2$ | |
| $r_3 = -18.9946$ | $d_3 = 2.8804$ | 石英 |
| $r_4 = -7.3945$ | $d_4 = 0.2$ | |
| $r_5 = 65.8028$ | $d_5 = 2.7977$ | 石英 |

| (5) | | | 特開平6-347700 | | |
|--|-------------------|----|---|-------------------|----|
| 7 | | | 8 | | |
| $r_6 = -16.8378$ | $d_6 = 0.2$ | | $r_{22} = 5.2022$ | $d_{22} = 3.5626$ | 石英 |
| $r_7 = \infty$ | $d_7 = 1.0$ | 石英 | $r_{23} = 48.6437$ | $d_{23} = 3.9752$ | |
| $r_8 = \infty$ | $d_8 = 0$ | | $r_{24} = -3.5803$ | $d_{24} = 5.0$ | 石英 |
| $r_9 = -3.2859 \times 10^5$ (DOE1) | $d_9 = 0.2$ | | $r_{25} = 23.3843$ | | |
| $r_{10} = 16.2471$ | $d_{10} = 2.6929$ | 石英 | DOE 1 | | |
| $r_{11} = 3946.0273$ | $d_{11} = 2.0025$ | | $K = -1, A = -0.586575 \times 10^{-8}, B = 0.105584 \times 10^{-10}$ | | |
| $r_{12} = \infty$ | $d_{12} = 1.0$ | 石英 | $C = -0.114914 \times 10^{-11}, D = 0.438189 \times 10^{-13}$ | | |
| $r_{13} = \infty$ | $d_{13} = 0$ | | DOE 2 | | |
| $r_{14} = 0.4222 \times 10^6$ (DOE2) | $d_{14} = 2.3926$ | | 10 $K = -1, A = 0.315284 \times 10^{-8}, B = -0.139031 \times 10^{-10}$ | | |
| $r_{15} = 9.3997$ | $d_{15} = 5.0$ | 石英 | $C = 0.111483 \times 10^{-11}, D = -0.324566 \times 10^{-13}$ | | |
| $r_{16} = 4.6739$ | | | DOE 3 | | |
| DOE 1 | | | $K = -1, A = -0.157706 \times 10^{-8}, B = -0.411489 \times 10^{-9}$ | | |
| $K = -1, A = -0.355512 \times 10^{-8}, B = 0.255580 \times 10^{-10}$ | | | $C = 0.764800 \times 10^{-11}, D = -0.118926 \times 10^{-11}$ | | |
| $C = -0.276940 \times 10^{-12}, D = -0.492542 \times 10^{-15}$ | | | $R/t = 0.80$ | | |
| DOE 2 | | | DOE 1 $D_1 / D = 0.90, (h \times f) / (L \times I) = 0.045$ | | |
| $K = -1, A = 0.944679 \times 10^{-8}, B = -0.372543 \times 10^{-10}$ | | | 20 DOE 2 $D_1 / D = 0.95, (h \times f) / (L \times I) = 0.019$ | | |
| $C = -0.135587 \times 10^{-12}, D = 0.627142 \times 10^{-13}$ | | | DOE 3 $D_1 / D = 0.52, (h \times f) / (L \times I) = 0.086$ | | |
| $R/t = 0.78$ | | | [0039] 实施例3 | | |
| DOE 1 $D_1 / D = 1.00, (h \times f) / (L \times I) = 0.106$ | | | 焦点距離=3.6mm, NA=0.90, 倍率=100, 同焦距離=100mm | | |
| DOE 2 $D_1 / D = 0.80, (h \times f) / (L \times I) = 0.027$ | | | 標本面最大像高=0.10mm | | |
| [0038] 实施例2 | | | $r_0 = \infty$ | $d_0 = 0.8232$ | |
| 焦点距離=1.8mm, NA=0.90, 倍率=100, 同焦距離=45mm | | | $r_1 = -4.5891$ | $d_1 = 4.2051$ | 石英 |
| 標本面最大像高=0.10mm | | | 30 $r_2 = -3.5905$ | $d_2 = 0.15$ | |
| $r_0 = \infty$ | $d_0 = 0.5202$ | | $r_3 = -18.1769$ | $d_3 = 3.4758$ | 石英 |
| $r_1 = -3.5097$ | $d_1 = 3.9565$ | 石英 | $r_4 = -8.6006$ | $d_4 = 0.15$ | |
| $r_2 = -3.1721$ | $d_2 = 0.2$ | | $r_5 = -42.4203$ | $d_5 = 2.8290$ | 石英 |
| $r_3 = -25.5673$ | $d_3 = 3.6571$ | 石英 | $r_6 = -18.3477$ | $d_6 = 0.15$ | |
| $r_4 = -7.7297$ | $d_4 = 0.2$ | | $r_7 = \infty$ | $d_7 = 1.0$ | 石英 |
| $r_5 = \infty$ | $d_5 = 1.0$ | 石英 | $r_8 = \infty$ | $d_8 = 0$ | |
| $r_6 = \infty$ | $d_6 = 0$ | | $r_9 = -4.6500 \times 10^5$ (DOE1) | $d_9 = 2.3380$ | |
| $r_7 = 1.6281 \times 10^6$ (DOE1) | $d_7 = 0.2$ | | $r_{10} = 18.6150$ | $d_{10} = 6.8566$ | 石英 |
| $r_8 = 15.4510$ | $d_8 = 5.0$ | 石英 | $r_{11} = -70.6680$ | $d_{11} = 0.4264$ | |
| $r_9 = -16.2334$ | $d_9 = 0.2$ | | 40 $r_{12} = -684.8949$ | $d_{12} = 2.0$ | 石英 |
| $r_{10} = \infty$ | $d_{10} = 1.0$ | 石英 | $r_{13} = 31.2416$ | $d_{13} = 4.6278$ | |
| $r_{11} = \infty$ | $d_{11} = 0$ | | $r_{14} = -9.5514$ | $d_{14} = 2.0$ | 石英 |
| $r_{12} = -3.8924 \times 10^5$ (DOE2) | $d_{12} = 0.2$ | | $r_{15} = -14.7720$ | $d_{15} = 0.15$ | |
| $r_{13} = 28.6396$ | $d_{13} = 2.8321$ | 石英 | $r_{16} = \infty$ | $d_{16} = 1.0$ | 石英 |
| $r_{14} = -91.0899$ | $d_{14} = 3.6190$ | | $r_{17} = \infty$ | $d_{17} = 0$ | |
| $r_{15} = -6.8166$ | $d_{15} = 2.0$ | 石英 | $r_{18} = 2.3143 \times 10^7$ (DOE2) | $d_{18} = 0.15$ | |
| $r_{16} = -10.6927$ | $d_{16} = 0.2003$ | | $r_{19} = 118.9395$ | $d_{19} = 3.0545$ | 石英 |
| $r_{17} = 8.4376$ | $d_{17} = 2.5850$ | 石英 | $r_{20} = -24.0674$ | $d_{20} = 6.0351$ | |
| $r_{18} = 4.9177$ | $d_{18} = 3.5485$ | | $r_{21} = 18.8858$ | $d_{21} = 5.9248$ | 石英 |
| $r_{19} = \infty$ | $d_{19} = 1.0$ | 石英 | 50 $r_{22} = \infty$ | $d_{22} = 0$ | |
| $r_{20} = \infty$ | $d_{20} = 0$ | | | | |
| $r_{21} = 0.5853 \times 10^6$ (DOE3) | $d_{21} = 0.2$ | | | | |

(6)

特開平6-347700

9

$r_{23} = -3.6009 \times 10^6$ (DOE3) $d_{23} = 0.15$

$r_{24} = 16.4878$ $d_{24} = 3.3455$ 石英

$r_{25} = 151.2259$ $d_{25} = 2.0635$

$r_{26} = -9.6929$ $d_{26} = 3.2223$ 石英

$r_{27} = 8.6410$ $d_{27} = 6.0496$

$r_{28} = -9.5754$ $d_{28} = 6.2379$ 石英

$r_{29} = -136.3117$ $d_{29} = 25.9711$

$r_{30} = -22.5706$ $d_{30} = 7.00$ 石英

$r_{31} = -18.2056$

DOE 1

$K = -1$, $A = -0.978136 \times 10^{-9}$, $B = -0.552784 \times 10^{-11}$

$C = -0.151562 \times 10^{-12}$, $D = 0.142616 \times 10^{-14}$

DOE 2

$K = -1$, $A = 0.405846 \times 10^{-9}$, $B = 0.125266 \times 10^{-10}$

$C = 0.161396 \times 10^{-12}$, $D = -0.142574 \times 10^{-15}$

DOE 3

$K = -1$, $A = 0.232811 \times 10^{-8}$, $B = 0.742643 \times 10^{-11}$

$C = -0.309069 \times 10^{-13}$, $D = 0.731189 \times 10^{-14}$

$R/t = 0.85$

DOE 1 $D_1 / D = 0.98$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.033$

DOE 2 $D_1 / D = 0.81$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.042$

DOE 3 $D_1 / D = 0.64$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.106$

【0040】実施例4

焦点距離=3.6mm, NA=0.90, 倍率=100, 同焦距離 30 =100mm

標本面最大像高=0.10mm

$r_0 = \infty$ $d_0 = 0.8755$

$r_1 = -4.8102$ $d_1 = 5.3204$ 石英

$r_2 = -4.3657$ $d_2 = 0.1573$

$r_3 = -11.9270$ $d_3 = 3.8504$ 石英

$r_4 = -8.2848$ $d_4 = 0.15$

$r_5 = -24.8350$ $d_5 = 3.6041$ 石英

$r_6 = -24.6366$ $d_6 = 0.15$

$r_7 = \infty$ $d_7 = 1.0$ 石英

$r_8 = \infty$ $d_8 = 0$

$r_9 = -4.8658 \times 10^5$ (DOE) $d_9 = 1.4144$

$r_{10} = 24.4149$ $d_{10} = 6.9009$ 石英

$r_{11} = -27.4833$ $d_{11} = 1.2232$

$r_{12} = -106.5697$ $d_{12} = 2.0$ 石英

$r_{13} = 27.2764$ $d_{13} = 6.6174$

$r_{14} = -10.4558$ $d_{14} = 2.8083$ 石英

$r_{15} = -16.1963$ $d_{15} = 0.8542$

$r_{16} = 168.5767$ $d_{16} = 4.1096$ 石英

$r_{17} = -22.5842$ $d_{17} = 0.15$

10

$r_{18} = 17.4537$ $d_{18} = 4.0673$ 石英

$r_{19} = 344.2078$ $d_{19} = 0.15$

$r_{20} = 16.7564$ $d_{20} = 3.7221$ 石英

$r_{21} = 71.3470$ $d_{21} = 2.7494$

$r_{22} = -17.0797$ $d_{22} = 2.4919$ 石英

$r_{23} = 8.7006$ $d_{23} = 8.1241$

$r_{24} = 253.5226$ $d_{24} = 4.9548$ 石英

$r_{25} = 7.7408$ $d_{25} = 29.8340$

$r_{26} = -13.6864$ $d_{26} = 4.102532$ 石英

10 $r_{27} = -13.1893$

DOE

$K = -1$, $A = -0.136158 \times 10^{-9}$, $B = -0.377494 \times 10^{-14}$

$C = -0.369325 \times 10^{-14}$, $D = 0.323198 \times 10^{-16}$

$R/t = 0.82$

DOE $D_1 / D = 0.96$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.042$

ただし r_0, r_1, r_2, \dots は各面の曲率半径、 d_0, d_1, d_2, \dots は各面間隔で、 r_0 は物体面、 d_0 は作動距離である。

【0041】実施例1, 2は、夫々図1, 4に示す構成で、He-Cdレーザーを用いた走査型レーザー顕微鏡(LSM)用対物レンズであり、硝材は石英のみで $\lambda = 441\text{nm}$ 、 325nm の2波長で色収差補正してある。これらのうち実施例1は、2枚の回折型光学素子(DOE)を用いてあり、DOE1で主として軸上・倍率色収差を補正し、DOE2で更に軸上残存色収差を補正している。この実施例1は r_{16} より像側に19.7143mmが胴付位置である。実施例2は、3枚の回折型光学素子を用い、DOE1, DOE2により主として軸上色収差を補正し、DOE3により倍率色収差を補正している。この実施例2の胴付位置は、面 r_{25} より像側に0.3434mmである。

【0042】実施例3, 4は、夫々図7, 図10に示す構成で、DUV(DEEP ULTRA VIOLET)レーザーを用いた走査型レーザー顕微鏡(LSM)用対物レンズで、同様に硝材は石英のみである。実施例3は $\lambda = 266 \pm 2\text{nm}$ での色収差補正を行なっている。この実施例は3枚の回折型光学素子を用い、DOE1にて軸上色収差を、DOE3にて倍率色収差を、又DOE2にて両残存色収差を補正している。更に実施例4は、1枚の回折型光学素子を用いており、これにより主として軸上色収差を補正している。これら実施例の胴付位置は、断面図に符号Bにて示してあり、実施例3が r_{31} より物体側に1.386133mm、実施例4が r_{27} より物体側に1.3819mmである。

【0043】尚実施例すべて回折型光学素子の非球面効果により、球面収差、コマ収差等も補正している。また $n_0 = 1.0001$ で設計してある。また、各実施例の断面図は、右側(r_0 側)が物体側で、各収差図は逆追跡

(7)

特開平6-347700

11

12

により物体面に結像させた時のものを示してある。

【0044】

【発明の効果】本発明の対物レンズは、単一の硝材のみで高NA、高倍率であってしかも諸収差特に色収差が良好に補正されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の断面図

【図2】本発明の実施例1の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図3】本発明の実施例1のコマ収差曲線図

【図4】本発明の実施例2の断面図

【図5】本発明の実施例2の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図6】本発明の実施例2のコマ収差曲線図

【図7】本発明の実施例3の断面図

【図8】本発明の実施例3の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図9】本発明の実施例3のコマ収差曲線図

【図10】本発明の実施例4の断面図

【図11】本発明の実施例4の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図12】本発明の実施例3のコマ収差曲線図

【図13】通常ガラスでの屈折状況を示す図

【図14】回折現象による光の屈折状況を示す図

10 【図15】回折型光学素子のブレース化した状態での断面図

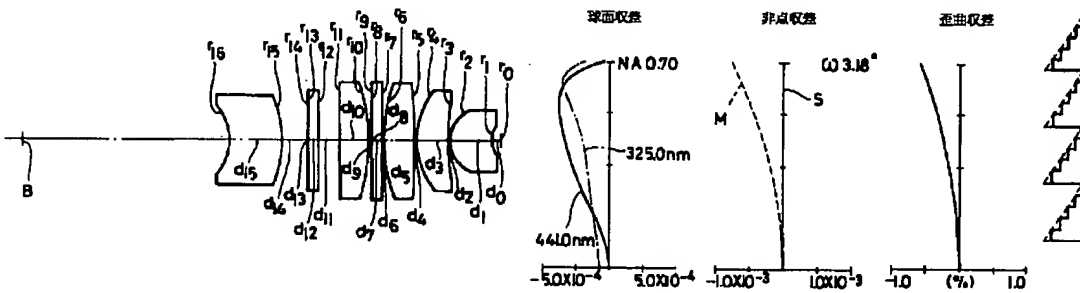
【図16】回折型光学素子のバイナリー近似を行なったものの断面図

【図17】ウルトラハイ インデックス レンズにおける光の屈折状況を示す図。

【図1】

【図2】

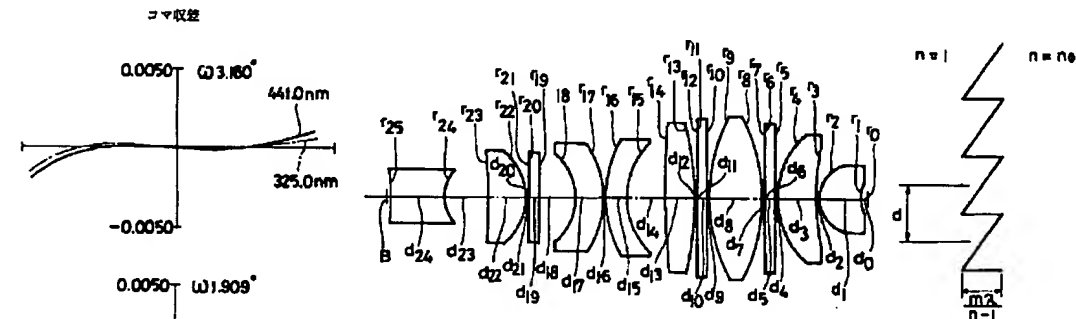
【図16】



【図3】

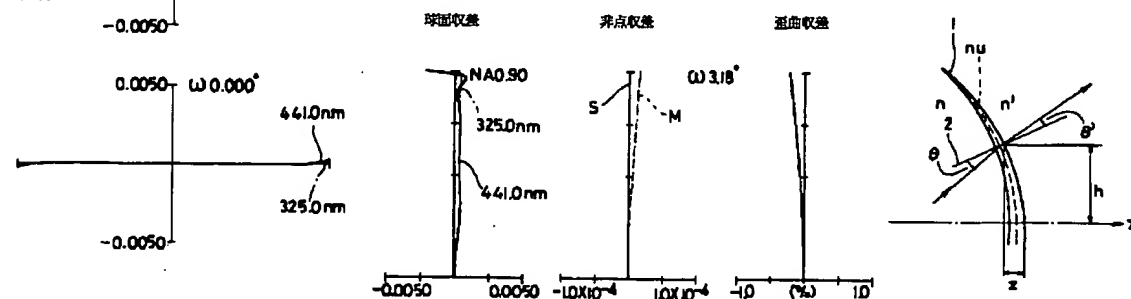
【図4】

【図15】



【図5】

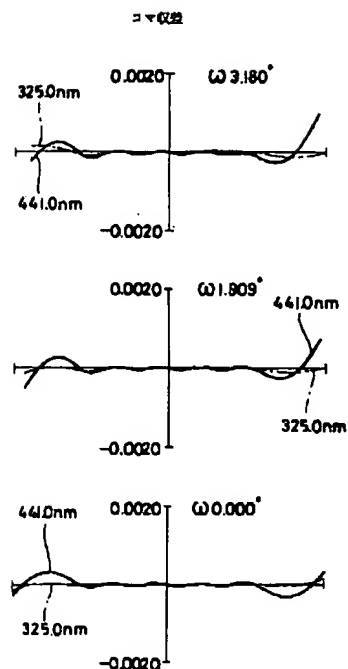
【図17】



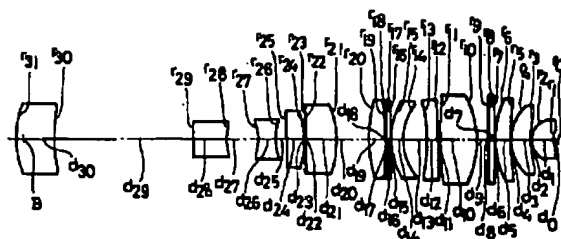
(8)

特開平6-347700

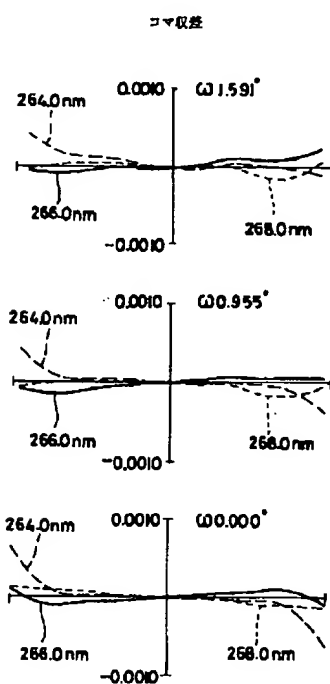
【図6】



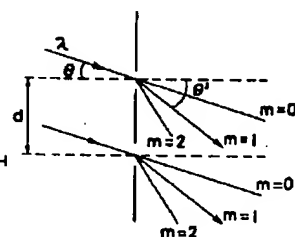
【図7】



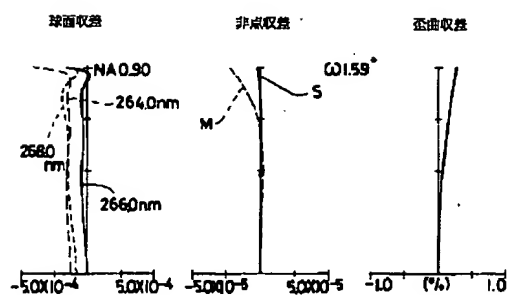
【図9】



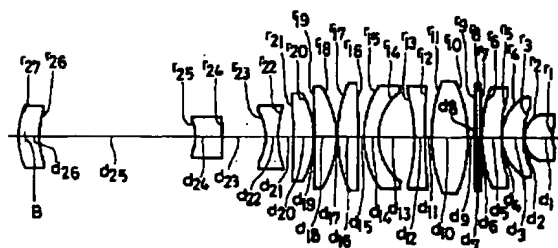
【図14】



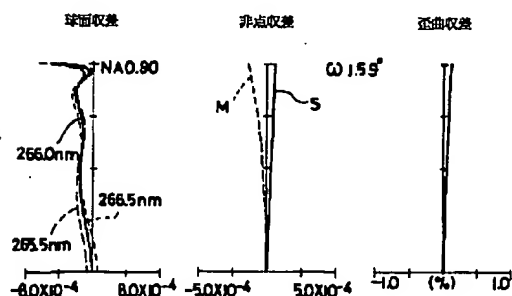
【図8】



【図10】



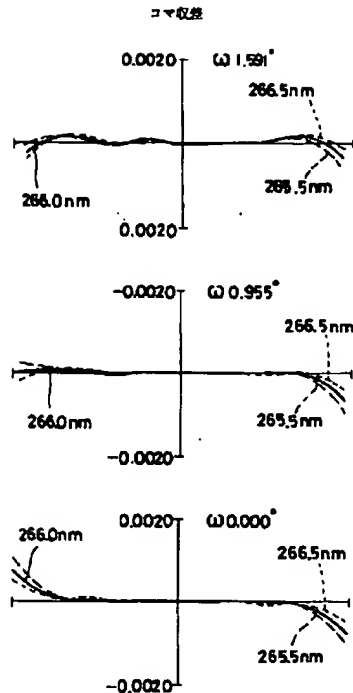
【図11】



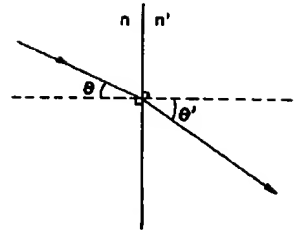
(9)

特開平6-347700

【図12】



【図13】



【手続補正書】

【提出日】平成5年11月1日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】物体側から順に、物体側が平面の平凸レンズ又は物体側に凹面を向けたメニスカスレンズを含み全体として正の屈折力の第1群と、少なくとも1枚の回折型光学素子を含んだ第2群とを備え、下記の条件(1)を満足し、且つ少なくとも1枚の回折型光学素子が条件(2)および(3)のうち少なくとも一方を満足する対物レンズ。

- (1) $0.5 < R/t < 5$
- (2) $D_1/D > 0.8$
- (3) $(h \times f) / (L \times I) > 0.07$

ただしRは前記メニスカスレンズの像側の面の曲率半径、tは前記メニスカスレンズの肉厚、 D_1 は回折型光学素子の面でのマージナル光束径、Dは対物レンズ中の最大マージナル光束径、hは回折型光学素子の面での主光線高、fは全系の焦点距離、Lは同焦距離、Iは標本面での最大像高である。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】又前記の回折現象を利用した回折型光学素子即ちディフラクティブ オプティカル エLEMENT [Diffractive Optical Elements (DOE)] は、オプトロニクス社発行の「光学デザイナーのための小型光学エレメント」第6、第7章、「SPIE」第126巻 46～53頁(1977年)等に詳細に記載されているが、その原理を簡単に述べると下記の通りである。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明の対物レンズは、物体側から順に、物体側が平面の平凸レンズ又は物体側に凹面を向けたメニスカスレンズを含み全体として正の屈折力の第1群と、少なくとも1枚の回折型光学素子を含んだ第2群とを備え、下記の条件(1)を満足し、且

(10)

特開平6-347700

つ少なくとも1枚の回折型光学素子が条件(2)および
(3)のうち少なくとも一方を満足する対物レンズ。

(1) $0.5 < R/t < 5$

(2) $D_1/D > 0.8$

(3) $(h \times f) / (L \times I) > 0.07$

ただしRは前記メニスカスレンズの像側の面の曲率半

径、tは前記メニスカスレンズの肉厚、 D_1 は回折型光学素子の面でのマージナル光束径、Dは対物レンズ中の最大マージナル光束径、hは回折型光学素子の面での主光線高、fは全系の焦点距離、Lは同焦距離、Iは標本面での最大像高である。